

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ À

L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

PAR

KEVIN PLOURDE

RELATION ENTRE LES SEUILS LACTIQUES, LA PUISSANCE DE
PÉDALAGE ET LA PERFORMANCE DE CYCLISTES EXPÉRIMENTÉS

AVRIL 1997

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

RÉSUMÉ

Il existe plusieurs façons d'évaluer la performance des athlètes, mais lorsqu'il s'agit de prédire celle-ci, les moyens sont parfois difficilement accessibles aux entraîneurs. Le but de la recherche était de trouver des prédicteurs de la performance pour les épreuves contre la montre en cyclisme et de trouver une équation permettant de prédire la performance de ces athlètes. Les prédicteurs devaient être accessibles aux entraîneurs, peu coûteux et facilement reproductibles.

Dix cyclistes d'expérience ont participé à l'étude. Deux tests réalisés en laboratoire ont permis de recueillir les différentes données. Il s'agit d'un test de lactatémie lors d'un exercice à intensité croissante et du test de Wingate. Le test de lactatémie a permis de déterminer les seuils lactacides (2 mM, 4 mM et inflexion de la courbe de lactate) ainsi que les charges de travail correspondantes. De plus, lors de ce test, la fréquence cardiaque et la perception de l'effort selon l'échelle de Borg étaient enregistrées. En plus des paramètres recueillis lors du test de Wingate, deux prélèvements post-exercice ont été réalisés afin de connaître les concentrations plasmatiques de lactate suite à ce test. Parallèlement, les sujets ont réalisé une épreuve contre la montre de 7 km en situation réelle.

L'analyse statistique de régression multiple nous a permis de retenir deux équations significatives ($p < 0,05$).

Pour la première équation, ce sont les paramètres suivants qui furent retenus afin de prédire la vitesse au contre la montre sur 7 km (V_i): l'indice de masse maigre sur taille (mm/t), la charge de travail en Watts à 2 mM (W_2), la charge de travail en Watts à l'inflexion de la courbe (W_I) et l'indice de fatigue (I_f).

$$\begin{aligned} V_i = & 1,641619 \text{ (mm/t)} + 0,013754 \text{ (} W_2 \text{)} - 0,080718 \text{ (} W_I \text{)} \\ & + 23,225438 \text{ (} I_f \text{)} - 13,464470 \\ R = & 0.9563, R^2 \text{ ajusté} = 0.9213, p < 0,0014 \end{aligned}$$

Pour la seconde équation, les paramètres suivants furent retenus pour prédire la vitesse au contre la montre sur 7 km (V_i): l'indice de masse maigre sur taille (mm/t), le pourcentage de la charge de travail maximale à l'inflexion de la courbe (% W_I), le pourcentage de la charge de travail maximale à 4 mM (% W_4) et l'indice de fatigue (I_f).

$$\begin{aligned} V_i = & 1,303822 \text{ (mm/t)} - 0,203933 \text{ (\%WI)} + 0,087689 \text{ (\%W4)} \\ & + 22,490163 \text{ (If)} - 9,332348 \\ R = & 0.9420, R^2 \text{ ajusté} = 0.8957, p < 0.0027 \end{aligned}$$

L'écart absolu moyen de prédiction, i.e. la différence entre la valeur réelle (V_i) et la valeur prédite par l'équation, est en moyenne de 2.7357 km/h pour la première équation et de 3.2105 km/h pour ce qui est de la seconde équation.

Ainsi, les résultats de cette étude démontrent qu'il est possible de prédire avec suffisamment de précision la performance des cyclistes lors d'une épreuve contre la montre sur 7 km avec des tests de laboratoire accessibles aux entraîneurs.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de recherche le Dr. François Trudeau, Ph. D., professeur au Département des Sciences de l'Activité Physique de l'Université du Québec à Trois-Rivières. Je le remercie pour sa patience, son soutien constant et son professionnalisme tout au long de la recherche et lors des nombreux imprévus rencontrés.

Je remercie le Dr. Louis Laurencelle, Ph.D. pour sa grande collaboration lors des traitements statistiques et de l'analyse des résultats.

Je remercie également M. Claude Lajoie pour sa disponibilité et son aide très précieuse lors des expérimentations.

Merci à M. Claude Brouillette, technicien en électronique, pour son soutien technique lors du transfert des données.

Merci aussi à Chantal Couture pour son support constant et son aide à la mise en page du présent document.

De plus, je tiens à souligner la participation des sujets sans qui la présente étude n'aurait pu avoir lieu, je les remercie pour leur temps et leur amour du sport.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	i
REMERCIEMENTS.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES ABRÉVIATIONS	ix
 CHAPITRES	
I. INTRODUCTION	1
II. RECENSION DES ÉCRITS.....	3
Consommation maximale d'oxygène.....	3
Seuil du lactate	4
Puissance de pédalage	6
Critères de performance.....	7
Problème posé et hypothèses.....	8
III. MÉTHODOLOGIE.....	10
Sujets.....	10
Appareillage.....	11
Seuils d'apparition du lactate (SAL).....	13
Détermination des seuils.....	15
Test de puissance de Wingate.....	16
Estimation du pourcentage de graisse.....	17
Test de Borg	18
Parcours de 7 km.....	18

	Analyses statistiques.....	20
IV.	LES RÉSULTATS.....	21
	La vitesse.....	21
	Seuils lactiques et perception de l'effort.....	22
	La fréquence cardiaque.....	25
	Le test de puissance de Wingate.....	26
	Relation entre les variables.....	27
	Analyse de régression multiple.....	28
V.	DISCUSSION.....	31
	Composantes des équations.....	33
	Comparaison avec d'autres recherches.....	36
VI.	CONCLUSION.....	41
	RÉFÉRENCES	43
ANNEXES		
	A. Tableaux des corrélations des prédicteurs de la performance cycliste au contre la montre de 7 km.....	48
	B. Tableaux des liens significatifs entre les prédicteurs de la performance cycliste au contre la montre de 7 km.....	55
	C. Analyse de variance de la première équation.....	61
	D. Analyse de variance de la seconde équation.....	63
	E. Tableau de corrélation des éléments formant les équations vs leur équation respective.....	65

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Page
1. Données descriptives des sujets.....	11
2. La progression de l'intensité des paliers de 4 min.....	14
3. Échelle de perception de l'effort de Borg.....	19
4. Vitesse moyenne lors d'une épreuve contre la montre....	21
5. Charge de travail aux différents seuils.....	23
6. Pourcentage de la charge de travail maximale aux différents seuils.....	24
7. Perception de l'effort aux différents seuils.....	25
8. Fréquence cardiaque aux différents seuils.....	26
9. Résultats obtenus lors du test de Wingate.....	27

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1. Résistances mécanique, aérodynamique et totale en fonction de la vitesse du cycliste.....	34

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Liste	Page
1. Liste des abréviations utilisées dans les annexes	
A et B	47

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Le cyclisme sur route est une activité physique qui requiert un taux moyen de production d'énergie très élevé pendant des périodes plus ou moins prolongées (Faria, 1992). De plus, les courses sur route comprennent des échappées, des montées et des sprints qui nécessitent de la puissance musculaire. En effet, la puissance requise pour une vitesse donnée augmente proportionnellement au carré de la vitesse (Di Prampero et al., 1979). Les vitesses nécessaires pour la compétition sur route sont situées entre 37 et 47 km/h avec des pointes pouvant atteindre 70 km/h.

Seulement quelques équipes de chercheurs ont essayé de tracer le portrait physiologique du cycliste ayant le plus de potentiel (Burke, 1980; Coyle et al., 1991; Faria et al., 1989; Hopkins et McKenzie, 1994). Si on compare avec la pléthore d'articles sur la course à pied d'endurance, on peut conclure comme Hopkins et McKenzie (1994), que la relation entre des variables obtenues de façon non-invasive et la performance de cyclistes sur route est peu documentée.

Pour les fins de la présente étude, le type de course sur route retenu fut le contre la montre individuel. Cette épreuve consiste à

parcourir une distance fixe où les concurrents sont chronométrés. Les coureurs ont alors comme objectif de réaliser la distance avec le meilleur temps possible et non de franchir la ligne d'arrivée en premier. De plus, lors de ces courses, les cyclistes prennent le départ de façon successive et ne peuvent bénéficier de l'aide d'aucun autre concurrent.

CHAPITRE II

RECENSION DES ÉCRITS

Voici une brève description des principales variables physiologiques qui ont été étudiées dans les quelques études ayant analysé la performance cycliste.

Consommation maximale d'oxygène

Les cyclistes de haut niveau avaient une consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2$ max) plus élevée dans l'étude de Burke (1980) que d'autres cyclistes de moins bon niveau mais néanmoins bien entraînés (67 ± 1.8 vs 57.1 ± 2.9 ml/kg/min). Cependant, Coyle et al. (1991) n'ont pas remarqué une telle différence entre deux groupes définis de la même façon (69.6 ± 1.2 vs 69.3 ± 1.2 ml/kg/min). Dans d'autres études sur les cyclistes sur route, des $\dot{V}O_2$ max similaires avaient été obtenus chez des athlètes de niveau provincial en Colombie-Britannique (Hopkins et McKenzie, 1994) et des cyclistes français du Tour de France (Sjøgaard, 1984).

Malgré ce $\dot{V}O_2$ max similaire, les cyclistes les meilleurs roulaient à une vitesse 10% supérieure à celle des cyclistes de niveau plus bas (Coyle et al., 1991). Il semble que d'autres facteurs que le $\dot{V}O_2$ max soient plus étroitement associés avec la

performance. En effet, un pourcentage élevé (70-80%) de fibres lentes serait avantageux pour la course sur route (Burke et al., 1977; Coyle et al., 1991; Faria et al., 1989).

En ce qui concerne les mesures non-invasives, excluant donc le typage des fibres musculaires, il semble que le seuil du lactate et la puissance sur le pédalier (downstroke power) soient particulièrement associés à un haut niveau de performance (Coyle et al., 1991; Faria et al., 1989).

Seuil du lactate

La variable qui était la mieux corrélée ($r = ,99$) avec la performance lors d'un essai en laboratoire était le pourcentage du $\dot{V}O_2$ max au seuil d'apparition du lactate (Coyle et al., 1991).

Dans cette étude, le seuil d'apparition du lactate (SAL) était déterminé en mesurant le $\dot{V}O_2$ max où la concentration de lactate dépasse de 1 mM la valeur basale (Coyle et al., 1991). La valeur basale était définie comme la concentration de lactate à l'exercice léger. Ainsi, il a été mesuré que le groupe des meilleurs cyclistes atteignait ce seuil à 79.2% de leur $\dot{V}O_2$ max comparé à 75.3% pour l'autre groupe (Coyle et al., 1991). Ces résultats confirment les observations précédentes de cette équipe (Coyle et al., 1988).

À notre connaissance, Farrell et al. (1979) ont été les premiers à utiliser cette méthode du Δ 1 mM. Un argument en faveur de cette méthode semble sa facilité d'utilisation. Rien n'indique cependant que la réalité physiologique associée à ce critère exprime le même phénomène observé à 4 mM ou à une autre méthode de détermination du SAL. Certains chercheurs ont même proposé que les valeurs de lactate de 2 mM correspondent plutôt à un seuil dit aérobie (Weltman, 1995). En effet, les valeurs basales étant environ de 1 mM ou légèrement supérieures, une variation positive de 1 mM donnerait une valeur de 2 mM. Il y aurait donc lieu de vérifier si les autres critères de détermination du SAL donnent d'aussi bonnes corrélations avec la performance.

Le seuil dit ventilatoire a aussi été utilisé pour prédire la performance de cyclistes sur route (Hopkins et McKenzie, 1994). Cette variable était bien corrélée avec la performance sur une course contre la montre de 40 km ($r = -.81$). Cependant, cette méthode présente le désavantage d'être capricieuse et coûteuse d'utilisation pour des laboratoires peu équipés (Weltman, 1995). Elle nécessite le même équipement nécessaire à la détermination du $\dot{V}O_2$ max.

Noble et al. (1983) affirment que la prédiction de la performance selon l'échelle de Borg procure une prédiction raisonnablement précise de la condition physique tout en nécessitant très peu de frais, de risques, de temps et d'efforts

supplémentaires de la part du sujet. L'échelle de perception de l'effort de Borg est couramment utilisée en parallèle avec d'autres tests, surtout lors de protocoles d'exercices à intensité croissante. La courbe des valeurs de la perception de l'effort des sujets est linéaire avec l'augmentation du $\dot{V}O_2$ et de la fréquence cardiaque lors de l'exercice. Toujours selon Noble et al. (1983), le seuil lactacide de 4 mM devrait survenir entre les valeurs 13 et 16 sur l'échelle de perception de l'effort de Borg.

Puissance de pédalage

Il est évident que le cyclisme sur route exige des périodes de travail en puissance. Coyle et al. (1991) ont mesuré la force descendante maximale (torque) sur le pédalier. Ils ont observé que la force descendante maximale des très bons cyclistes était supérieure à celle des bons cyclistes (-455.6 ± 17.8 N vs -369.4 ± 30.4 N). Cependant, ce résultat n'a pas de corrélation significative avec l'essai simulé de 40 km en laboratoire.

De plus, l'approche analytique de la force sur le pédalier s'apparente peu au type de sprint ou d'échappée observés en cyclisme sur route. Un test de puissance plus apparenté à la situation réelle serait probablement mieux corrélé avec les résultats d'un cycliste sur route. Un test de puissance musculaire

sur bicyclette stationnaire tel le Wingate serait, à notre avis, plus approprié pour discriminer les cyclistes.

Le test de Wingate est utilisé en laboratoire à travers le monde, il est facilement reproductible. La tâche standardisée du test de Wingate est utilisée afin d'analyser la réponse physiologique et cognitive à l'exercice supramaximal (Omir et al., 1996).

Critères de performance

Les critères de performance utilisés pour comparer les cyclistes et leurs caractéristiques varient d'une étude à une autre. Coyle et al. (1991) ont divisé les sujets en deux catégories basées sur le temps réalisé durant un contre la montre de 40 km en laboratoire. Si le cycliste avait réalisé un tel parcours en moins de 56 min, il était classé dans la catégorie élite nationale. Les autres étaient classifiés dans la catégorie des bons cyclistes de niveau provincial.

Cette approche comporte certains inconvénients. En effet, selon le principe de spécificité, les courses contre la montre discrimineront en faveur d'un type particulier de cyclistes en général plus lourds. C'était d'ailleurs le cas dans cette étude. Les cyclistes les meilleurs avaient une masse corporelle de 72.9 ± 5.68 kg contre 70.5 ± 6.5 kg pour les autres cyclistes. Les cyclistes les plus gros seraient avantagés en comparaison avec les plus petits

cyclistes à cause du rapport surface frontale/masse corporelle (Swain et al., 1987).

Dans les autres études, les cyclistes étaient classés de façon qualitative et distribués dans un groupe fort et un moins fort (Burke et al., 1977). Tel était le critère de performance.

Problème posé et hypothèses

La problématique en est une qui concerne la physiologie appliquée au cyclisme sur route. Plus particulièrement, le problème est de documenter la relation entre la performance en cyclisme sur route lors d'épreuves contre la montre et des résultats de tests de laboratoire. Cette mise en relation vise à prédire la performance du cycliste sur route, lors d'épreuves contre la montre, à partir des résultats des tests de laboratoire.

Notre recension des écrits nous a permis de soulever quelques interrogations sur trois aspects. Premièrement, les tests (critères) de mesure du seuil d'apparition du lactate ne semblent pas avoir été suffisamment étudiés. Deuxièmement, la mesure de la puissance de pédalage a été étudiée de façon analytique et biomécanique sans s'occuper de vérifier les puissances anaérobiques alactacide et lactacide en utilisant un test comme celui de Wingate par exemple.

Finalement, les critères de performance sont soit une épreuve contre la montre en laboratoire ou un classement par catégorie. Nous croyons qu'il est important de discriminer les sujets en fonction d'une course contre la montre plutôt que lors d'une épreuve simulée en laboratoire. En effet, les simulations en laboratoire: 1) utilisent en général des ergomètres plutôt que les vélos des sujets; 2) rendent plus difficile la thermorégulation étant donné l'absence de convection, ce qui influence grandement la durée de l'effort (Whitt et Wilson, 1974); 3) évacuent complètement la notion de résistance aérodynamique.

Nos hypothèses sont que:

- 1) Certains critères de détermination du SAL pourraient mieux discriminer les bons cyclistes des moins bons. Ce pourrait être le cas des critères (e.g. 4 mM) basés sur des intensités de travail plus élevées que pour des concentrations basses (Δ 1 mM ou 2 mM) utilisées par Coyle et al. (1991). Les meilleurs cyclistes devraient, à 4 mM encore plus qu'à 2 mM, être capables de maintenir une charge de travail élevée.
- 2) La puissance de pédalage, telle que mesurée par le test de Wingate, devrait être bien corrélée avec la performance dans des courses contre la montre qui impliquent un travail très intense et continu malgré des bourrasques de vent et certaines montées que l'on n'observe pas lors d'un contre la montre en laboratoire.

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

En résumé, notre expérimentation a consisté à évaluer dix cyclistes de niveaux régional, provincial et national. L'évaluation a comporté un test d'effort progressif sur ergocycle avec détermination de la lactatémie à chaque palier de 4 min. À partir de la courbe de la lactatémie en fonction de la charge de travail, nous avons déterminé le SAL selon plusieurs critères (2 mM, inflexion de la courbe de lactate et 4 mM). L'évaluation comprenait aussi le test de puissance de Wingate sur ergocycle immédiatement suivi de mesures de la lactatémie prises à une et à cinq min après l'effort. Les résultats de ces tests seront mis en relation avec la performance du sujet dans un contre la montre de 7 km.

Sujets

Les dix sujets étaient âgés de 16 à 33 ans. Ils avaient en moyenne $23,6 \pm 5,38$ ans. Leur masse corporelle était de $69,73 \pm 7,22$ kg et leur taille de $1,74 \pm 0,08$ m. Ils étaient des cyclistes ayant $3,4 \pm 2,37$ années d'expérience. Leur pourcentage de masse grasse était de $7,34 \pm 2,28\%$ et leur masse maigre de $64,9 \pm 6,17$ kg.

Les caractéristiques physiologiques et anthropométriques se retrouvent au Tableau 1.

Tableau 1
Données descriptives des sujets

Sujets	Âge	Poids (kg)	Taille (m)	Années expéri.	Km été 96	% graisse	Masse maigre
1	23	68,9	1,70	2	2200	12,32	61,50
2	19	80,2	1,83	3	2200	7,08	74,52
3	16	81,8	1,88	2	4300	7,95	75,30
4	16	69,9	1,80	2	4600	6,7	65,21
5	24	70,8	1,76	1	2700	8,51	64,77
6	33	71,5	1,68	9	9000	7,77	65,95
7	27	68,4	1,70	5	6000	5,53	64,62
8	27	65,9	1,76	3	7200	7,88	63,01
9	27	59,4	1,63	2	3800	6,14	55,75
10	24	60,5	1,65	5	3000	3,5	58,40
Moy.	23,6	69,73	1,74	3,4	4500	7,34	64,90
É.Type	5,38	7,22	0,08	2,37	2270,58	2,28	6,17

Appareillage

Bicyclette: La bicyclette utilisée était une bicyclette ergométrique à frein électromagnétique (Lode, Groningen, Hollande).

Adipomètre: Les différentes lectures de plis adipeux furent prises avec une pince Harpenden (John Bull, England).

Analyse du lactate: Afin de déterminer la lactatémie, un analyseur portatif de lactate (Accusport, Boehringer-Mannheim Diagnostics, Indianapolis, IN) fut utilisé. L'échantillon sanguin était recueilli sur une bandelette réactive (Lactate Test Strip, Accusport, Boehringer-Mannheim Diagnostics, Indianapolis, IN) et les prélèvements de sang capillaire étaient prélevés au bout des doigts des cyclistes à l'aide d'un auto-piqueur (Softclix, Boehringer-Mannheim). Le principe de la réaction catalysée par l'enzyme lactate oxydase est le suivant:

- 1 - L-Lactate + Médiateur (forme 1) → Pyruvate + Médiateur réduit
- 2 - Médiateur réduit + 2,18 Phosphomolybdate → Bleu molybdène + Médiateur (forme 2)

La lactatémie est ensuite déterminée par réflectance photométrique. La validité du test a varié de ($r = ,954$ à $,991$) dans les tests effectués par le fabricant. Nous avons effectué une calibration de l'appareil avant chaque expérimentation.

Bicyclette pour test Wingate: Un ergocycle (Monark, 814E, Suède) relié à un ordinateur (Apple IIe) et une imprimante ont été utilisés afin de faciliter le recueil des données.

Montre Polar: Une montre Polar (Polar Electro Oy, Finlande) fut utilisée afin de recueillir la fréquence cardiaque.

Seuil d'apparition du lactate (SAL)

La mesure du SAL se fera à l'aide d'un protocole d'exercice à intensité croissante (Weltman, 1995) sur cyclergomètre à frein électromagnétique. La progression de l'intensité se retrouve au Tableau 2.

Chacun des paliers durait 4 min. Des prélèvements de sang capillaire ont été prélevés au bout des doigts des cyclistes à l'aide de l'auto-piqueur. L'échantillon sanguin était ensuite recueilli sur la bandelette réactive, pour la lecture du résultat avec l'analyseur portatif de lactate. Les prélèvements sanguins ont été effectués au repos, assis sur la bicyclette et à 3 min 30 s de chacun des paliers d'effort. Si à la fin, le dernier palier n'était pas terminé suite à l'abandon du cycliste, un prélèvement sanguin était immédiatement réalisé. Finalement, un prélèvement sanguin était effectué lors de la récupération à une intensité de 50 W (4 min post-exercice).

Tableau 2

La progression de l'intensité des paliers de 4 min.

Temps (min)	Charges (W)
0 - 4	50
4 - 8	100
8 - 12	150
12 - 16	180
16 - 20	210
20 - 24	240
24 - 28	270
28 - 32	300
32 - 36	320
36 - 40	340
40 - 44	360
44 - 48	380

Détermination des seuils

À partir de la courbe de la lactatémie en relation avec la puissance de travail, nous avons déterminé différents seuils lactiques.

- 1) Seuil à 2 mM: Seuil déterminé lorsque la lactatémie atteint 2 mM (Weltman, 1995).
- 2) Seuil à 4 mM: Parfois appelé "Onset of blood lactate accumulation" ou OBLA, le seuil à 4 mM est déterminé par "interpolation quadratique" à 4 mM à partir de l'équation du second degré (Paulin, 1990):

$y = f(x) = ax^2 + bx + c \quad \text{où } y = [\text{La}^-] \text{ et } x = \text{Watts}$

- 3) Seuil lactique au point d'inflexion de la courbe de lactate: La méthode de détermination par critère d'angle a servi à évaluer le point d'inflexion de la courbe de la lactatémie en relation avec la charge de travail (Paulin, 1990). Cette inflexion a été vérifiée par deux expérimentateurs.

Test de puissance de Wingate

Le test de Wingate était réalisé lors d'une autre journée que celle de la mesure du SAL (Bar-Or et al., 1977). Un échauffement de 5 min à une charge de 50 W avait été fait préalablement. Une mesure de la lactatémie était réalisée tel que décrit précédemment. Par la suite, le test de Wingate lui-même prenait place. Lors de ce test, le cycliste devait pédaler 30 s sur un ergocycle (Monark, 814E) le plus rapidement possible contre une charge de ,075 g/kg de poids corporel. La consigne était à l'effet de réaliser le plus de tours de pédalier possibles durant les 30 s.

Afin de faciliter le recueil des données, l'ergocycle était relié à un ordinateur (Apple IIe) et une imprimante. Le nombre de tours le plus élevé sur une tranche de 5 s servait à déterminer la puissance maximale. Le nombre de tours total sur 30 s exprimait la puissance totale. Par la suite, des mesures de la lactatémie étaient réalisées. Elles étaient effectuées à 1 et à 5 min après la fin du test de Wingate lors d'une récupération active à une charge de 50 W. Finalement, l'indice de fatigue fut calculé en utilisant la tranche de 5 s ayant produit le plus de tours à laquelle on soustrait la tranche ayant le moins de tours divisé par la tranche ayant produit le plus de tours.

$$\text{indice de fatigue} = \frac{(+ \text{ de tours en } 5 \text{ s}) - (- \text{ de tours en } 5 \text{ s})}{(+ \text{ de tours en } 5 \text{ s})}$$

Estimation du pourcentage de graisse

L'estimation du pourcentage de graisse est effectuée à partir de mesures de plis adipeux prises du côté droit. La formule utilisée pour l'estimation comprenait trois sites (ACSM, 1995).

Premièrement, l'abdomen: un pli vertical à environ un cm à droite de l'ombilic. Deuxièmement, supra-illiaque: un pli oblique à environ trois cm au dessus de la crête illiaque. Troisièmement, le triceps: un pli vertical à la partie postérieure du bras, à mi-chemin entre l'acromion et l'olécrâne, le bras en extension le long du corps.

La formule utilisée est celle de Jackson et Pollock (1986), adaptée par l'ACSM (1995) :

$$\begin{aligned} \% \text{ de graisse} = & 0,39287 (\Sigma 3) - 0,00105 (\Sigma 3)^2 \\ & + 0,15772 (\text{âge}) - 5,18845 \\ & r = 0,893 \quad SE = 3,63\% \end{aligned}$$

$\Sigma 3$ = somme des trois plis = abdomen, supra-illiaque, triceps.

Test de Borg

Test utilisé afin de déterminer la perception de l'effort du sujet (Noble et al., 1983). Le sujet doit indiquer selon une échelle numérique la perception de l'effort. La prise de la lecture s'effectue à la fin de chaque palier avant l'augmentation de la charge de travail. Chaque valeur de l'échelle numérique représente une valeur croissante indiquant l'augmentation de l'effort du sujet (Tableau 3).

Parcours de 7 km

Le parcours représentait un aller-retour sur une distance de 3.5 km en forme de "L". Au bout de la longue portion, il y avait une montée de 300 mètres dont la dénivellation était de 6%.

Tableau 3
Échelle de perception de l'effort de Borg ¹

Valeurs	Perception de l'effort
1	
2	
3	Extrêmement facile
4	
5	Très très facile
6	
7	Très facile
8	
9	Facile
10	
11	Modéré
12	
13	Difficile
14	
15	Très difficile
16	
17	Très très difficile
18	
19	Extrêmement difficile
20	

¹ (Noble et al., 1983)

Analyses statistiques

Les analyses statistiques de régression multiple ont été réalisées sur SAS (1990). Des analyses de corrélation ont été effectuées entre les vitesses obtenues au contre la montre de 7 km et les variables suivantes: l'âge, le poids, la taille, les années d'expérience, le kilométrage de l'été 96, le pourcentage de graisse, la masse maigre, l'indice de masse maigre sur taille (mm/t), la charge de travail (W) à chacun des SAL (2 mM, inflexion de la courbe de lactate, 4 mM et travail maximal atteint), le pourcentage du travail maximal à chacun des SAL (2 mM, inflexion de la courbe de lactate et 4 mM), les fréquences cardiaques (à l'inflexion de la courbe de lactate, à 4 mM et au travail maximal), la perception de l'effort selon l'échelle de Borg (à 2 mM, à l'inflexion de la courbe de lactate, à 4 mM et au travail maximal atteint), le nombre de tours total au test de Wingate, le plus grand nombre de tours en 5 s dans une tranche du test de Wingate, l'indice de fatigue et la lactatémie après la fin du test Wingate (à 1 et 5 min). Une analyse de régression multiple a aussi été réalisée pour prédire la performance lors d'épreuves contre la montre, à partir des données ci-haut mentionnées.

CHAPITRE IV

LES RÉSULTATS

La vitesse

La vitesse moyenne maintenue lors d'une épreuve de 7 km contre la montre était de 40.20 ± 1.60 km/h avec une étendue de 37.39 km/h à 41.93 km/h. Le temps requis pour parcourir la distance de 7 km variait de 10.02 min à 11.23 min, ce qui représente une moyenne de 10.46 ± 0.42 min (Tableau 4).

Tableau 4

Vitesse moyenne lors d'une épreuve contre la montre de 7 km.

Sujets	Vitesse km/h	Temps (min)
1	40,06	10,48
2	41,93	10,02
3	41,65	10,08
4	38,41	10,93
5	41,24	10,18
6	40,70	10,32
7	41,72	10,07
8	40,45	10,38
9	37,39	11,23
10	38,47	10,92
Moy.	40,20	10,46
É.Type	1,60	0,42

Seuils lactiques et perception de l'effort

Lors du test de lactatémie, les sujets ont atteint le seuil de 2 mM à une charge de travail qui était de $192 \pm 69,09$ W soit à $58,66 \pm 19,28\%$ du maximum de la charge atteinte. La perception de l'effort à ce seuil selon l'échelle de Borg était de $10,1 \pm 3,07$. L'inflexion de la courbe de lactate est survenue lorsque la charge de travail a atteint $219 \pm 31,78$ W, ce qui représente $68,21 \pm 11,31\%$ de la valeur maximale. À ce stade, la perception de l'effort selon l'échelle de Borg représentait des valeurs de $11,9 \pm 2,18$. Le seuil de 4 mM quant à lui fut atteint à $278 \pm 26,58$ W, cette valeur représente $86,29 \pm 7,7\%$ du maximum. La perception de l'effort à ce moment correspondait à $15 \pm 1,33$ sur l'échelle de Borg (Tableaux 5, 6 et 7).

TABLEAU 5
Charge de travail en watts aux différents seuils

Sujets	2 mM	Inflexion	4 mM	Maximum
1	100	210	240	270
2	270	270	300	340
3	240	240	300	340
4	210	210	270	340
5	270	210	320	320
6	100	270	270	300
7	180	210	270	360
8	240	210	300	320
9	100	180	240	300
10	210	180	270	340
Moyenne	192	219	278	323
É.Type	69,09	31,78	26,58	26,69

TABLEAU 6

Pourcentage de la charge de travail (W) maximale aux différents seuils.

Sujets	% du maximum à 2 mM	% du maximum à l'inflexion	% du maximum à 4 mM
1	37,04	77,78	88,89
2	79,41	79,41	88,24
3	70,59	70,59	88,24
4	61,76	61,76	79,41
5	84,38	65,63	100
6	33,33	90	90
7	50	58,33	75
8	75	65,63	93,75
9	33,33	60	80
10	61,76	52,94	79,41
Moyenne	58,66	68,21	86,29
É.Type	19,28	11,31	7,7

TABLEAU 7
Perception de la performance aux différents seuils
selon l'échelle de Borg.

Sujets	Borg à 2 mM	Borg à l'inflexion	Borg à 4 mM	Borg au max
1	9	13	15	18
2	12	12	13	19
3	13	13	15	20
4	10	10	14	19
5	14	12	16	20
6	6	17	17	19
7	8	11	14	19
8	11	9	14	16
9	5	11	15	17
10	13	11	17	20
Moyenne	10,1	11,9	15	18,7
É.Type	3,07	2,18	1,33	1,34

La fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque maximale obtenue par les sujets était de $193,3 \pm 9,06$ batt./min. La fréquence cardiaque enregistrée à 4 mM fut de $175,7 \pm 8,86$ batt./min, ce qui représente $90,99 \pm 4,64\%$ de la fréquence cardiaque maximale. La fréquence cardiaque enregistrée à l'inflexion de la courbe de lactate était de $161,1 \pm 11,46$ batt./min, ce qui représente $83,38 \pm 5,15\%$ de la fréquence cardiaque maximale (Tableau 8).

TABLEAU 8

Fréquence cardiaque en battements par min aux différents seuils.

Sujets	Fc Maximale	Fc à 4 mM	Fc inflexion	% Fc à 4 mM	% Fc à l'inflexion
1	200	188	183	94	91,5
2	204	180	162	88,24	79,41
3	195	182	161	93,33	82,56
4	199	181	164	90,95	82,41
5	182	180	162	98,9	89,01
6	180	162	151	90	83,89
7	196	161	142	82,14	72,45
8	183	174	154	95,08	84,15
9	190	170	158	89,47	83,16
10	204	179	174	87,75	85,29
Moyenne	193,3	175,7	161,1	90,99	83,38
É.Type	9,06	8,86	11,46	4,64	5,15

Le test de puissance de Wingate

En ce qui concerne le test de Wingate, le nombre de tours total est de $61,63 \pm 5,27$ tours. Le plus grand nombre de tours réalisés en 5 s est de $12,03 \pm 0,74$ tours. L'indice de fatigue est de $0,32 \pm 0,07$. La lactatémie enregistrée 1 min post exercice fut de $12,70 \pm 1,68$ mM et de $10,84 \pm 2,82$ mM à 5 min post exercice (Tableau 9).

TABLEAU 9
Résultats obtenus au test de Wingate.

Sujets	Tours au Total	Maximum de tours en 5 s	Index de fatigabilité	Lactatémie 1 min post	Lactatémie 5 min post
1	50,5	11,08	0,429	10,5	4,5
2	64,42	12,42	0,275	11,9	12,4
3	70,08	13,33	0,255	14,7	11,9
4	63,75	11,92	0,286	15,1	10,7
5	60,67	11,75	0,312	X	10,9
6	60,58	12,33	0,438	12,2	X
7	64,67	12,08	0,289	13,7	15,1
8	64,25	12,92	0,38	11,7	10,5
9	56,75	11,25	0,326	10,7	9,9
10	60,67	11,25	0,252	13,8	11,7
Moyenne	61,63	12,03	0,32	12,7	10,84
É.Type	5,27	0,74	0,07	1,68	2,82

Relation entre les variables

Suite à l'analyse statistique, certains paramètres se sont avérés significativement corrélés avec la vitesse lors de l'épreuve contre la montre sur 7 km. Ceux-ci sont: le poids du sujet ($r = ,77$ et $p < 0,0097$), la masse maigre ($r = ,77$ et $p < 0,0095$), l'indice de masse maigre sur taille ($r = ,81$ et $p < 0,0042$), la charge de travail à l'inflexion de la courbe de lactate ($r = ,67$ et $p < 0,0283$) ainsi que la charge de travail à 4 mM ($r = ,64$ et $p < 0,0475$). La relation entre

le maximum de tours effectués en 5 s au test de Wingate et la vitesse dans un contre la montre sur 7 km est presque significative ($r = ,62$ et $p < 0,0561$). (Annexes A et B).

Analyse de régression multiple

Après avoir effectué différentes régressions multiples, nous avons retenu plusieurs équations de régression comprenant de un à quatre prédicteurs. Deux équations de régression ont finalement été retenues. Celles-ci comprennent quatre prédicteurs chacune.

Pour la première équation, ce sont les paramètres suivants qui furent retenus afin de prédire la vitesse au contre la montre sur 7 km (V_i): l'indice de masse maigre sur taille (mm/t), la charge de travail en Watts à 2 mM (W_2), la charge de travail en Watts à l'inflexion de la courbe (W_I) et l'indice de fatigue (I_f) (Annexe C).

$$\begin{aligned}
 V_i = & 1,641619 \text{ (mm/t)} + 0,013754 \text{ (} W_2 \text{)} - 0,080718 \text{ (} W_I \text{)} \\
 & + 23,225438 \text{ (} I_f \text{)} - 13,464470 \\
 & r = 0.9563, r^2 \text{ ajusté} = 0.9213, p < 0.0014
 \end{aligned}$$

Les coefficients de corrélation entre chaque prédicteur et la valeur prédite, coefficients qui donnent la contribution relative de

chaque prédicteurs au système prédictif sont: l'indice de masse maigre sur taille (mm/t) ($r = ,83$), la charge de travail en Watts à 2 mM (W2) ($r = ,46$), la charge de travail en Watts à l'inflexion de la courbe (WI) ($r = ,70$) et l'indice de fatigue (If) ($r = -,01$) (Annexe E).

Pour la seconde équation, les paramètres suivants furent retenus pour prédire la vitesse au contre la montre sur 7 km (V_i): l'indice de masse maigre sur taille (mm/t), le pourcentage de la charge de travail maximale à l'inflexion de la courbe (%WI), le pourcentage de la charge de travail maximale à 4 mM (%W4) et l'indice de fatigue (If) (Annexe D).

$$\begin{aligned}
 V_i = & 1,303822 \text{ (mm/t)} - 0,203933 \text{ (%WI)} + 0,087689 \text{ (%W4)} \\
 & + 22,490163 \text{ (If)} - 9,332348 \\
 & r = 0.9420, r^2 \text{ ajusté} = 0.8957, p < 0.0027
 \end{aligned}$$

Les coefficients de corrélation associés aux prédicteurs de la seconde équation sont les suivants: l'indice de masse maigre sur taille (mm/t) ($r = ,84$), le pourcentage de la charge de travail maximale à l'inflexion de la courbe (%WI) ($r = ,48$), le pourcentage de la charge de travail maximale à 4 mM (%W4) ($r = ,45$) et l'indice de fatigue (If) ($r = -,01$) (Annexe E).

L'écart absolu moyen de prédiction i.e. la différence entre la valeur réelle (V_i) et la valeur prédite par l'équation est en moyenne de 2.7357 km/h pour la première équation et de 3.2105 km/h pour ce qui est de la seconde équation (Annexes C et D).

Écart absolu moyen de prédiction	=	$\frac{\sum \text{valeur réelle} - \text{valeur prédite} }{n}$
-------------------------------------	---	-------------------------------------------------------------------

Ces équations ont été retenues selon les critères suivants:

- 1) Le niveau de significativité. La première et la deuxième équation étaient significatives avec un " p " respectivement de 0.0014 et 0.0027.
- 2) La valeur prédite totale de l'équation r^2 et du r^2 ajusté. Pour la première équation, le r^2 était de 0.9563 et le r^2 ajusté de 0.9213 tandis que la seconde avait un r^2 de 0.9420 et un r^2 ajusté de 0.8957.
- 3) Des valeurs résiduelles les plus basses possibles. La valeur absolue des valeurs résiduelles est en moyenne de 1.0024 pour la première équation et de 1.3280 pour la seconde.

CHAPITRE V

DISCUSSION

Le but de notre étude était de trouver des outils prédicteurs de la performance dans un contre la montre en cyclisme. Les prédicteurs se devaient d'être relativement accessibles pour les entraîneurs. L'analyse des seuils lactiques est maintenant facilement accessible avec l'avènement des analyseurs portatifs (e.g. Lactate Accusport) et d'appareils permettant le contrôle de la charge de travail (e.g. Computrainer). En effet, ceux-ci sont moins coûteux que les ergomètres de laboratoire. Ces appareils permettent aussi de réaliser des tests supramaximaux tel le test de Wingate.

L'accessibilité des prédicteurs était un critère primordial, c'est pourquoi nous n'avons pas retenu la mesure de la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2$). Les appareils les moins coûteux pour mesurer cette variable se détaillent environ 15 000 dollars, ce qui est encore trop coûteux pour un club cycliste. D'ailleurs, de nombreuses études révèlent que la mesure des seuils de lactate serait un meilleur prédicteur de la performance d'endurance que le $\dot{V}O_2$ max. En effet, le $\dot{V}O_2$ max serait lié à des fonctions cardiovasculaires relativement peu adaptables tandis que la concentration plasmatique de lactate serait liée aux adaptations

qui surviennent à l'intérieur du muscle squelettique (Weltman, 1995).

Une des questions que nous nous posions était de savoir si les études de prédiction de la performance des cyclistes sur route, plus précisément lors des épreuves contre la montre, tenaient compte de suffisamment de déterminants importants de la performance en contre la montre.

La distance de 7 km a été retenue car elle représentait un parcours plat typique au contre la montre lors d'épreuves provinciales sanctionnées par la Fédération Québécoise des Sports Cyclistes (FQSC) (e.g. Course provinciale à Val des Neiges de 7 km et Championnat québécois 1996 de 8 km) et d'épreuves contrôle des entraîneurs. De plus, cette distance peut être utilisée pour prédire la performance sur des distances plus importantes.

Suite à l'analyse de régression de nos résultats, nous avons retenu deux équations. La première ayant comme facteurs l'indice de masse maigre sur taille, la charge de travail à 2 mM, la charge de travail à l'inflexion de la courbe de lactate et l'indice de fatigue. Cette équation est significative ($p < 0,0014$), le $r = 0.9563$, le r^2 ajusté est de 0.9213 et la valeur résiduelle est de 1.0024.

La seconde équation quand à elle, est composée de l'indice de masse maigre sur taille, du pourcentage de la charge de travail maximale utilisée à l'inflexion de la courbe de lactate, du

pourcentage de la charge de travail maximale utilisée à 4 mM et de l'indice de fatigue. La deuxième équation est significative à ($p < 0.0027$), le $r = 0.9420$, le r^2 ajusté est de 0.8957 et la valeur résiduelle est de 1.3280.

Composantes des équations

En ce qui concerne chacun des facteurs composant les équations, une brève description s'impose. L'indice de masse maigre sur taille représente une forme d'indice de la densité corporelle. Elle est composée de la masse maigre et de la taille. En effet, un indice de masse maigre sur taille élevée représente une grande quantité de masse maigre par unité de taille. L'énergie dépensée est donc utilisée pour produire le déplacement. La surface résistante au vent est relativement moindre. Même si les athlètes ayant une plus grande masse maigre par mètre de taille offrent une surface frontale plus importante en absolu, ils présentent par contre une surface frontale moins importante relativement à leur poids corporel et aussi relativement à leur masse maigre, celle capable de générer le travail (Swain, 1996). Ceci est particulièrement important aux vitesses que nous avons étudiées (37.39 km/h à 41.93 km/h) (Hagberg et Mc Cole, 1996) et est démontré par la courbe de la puissance en fonction de la vitesse (Figure 1).

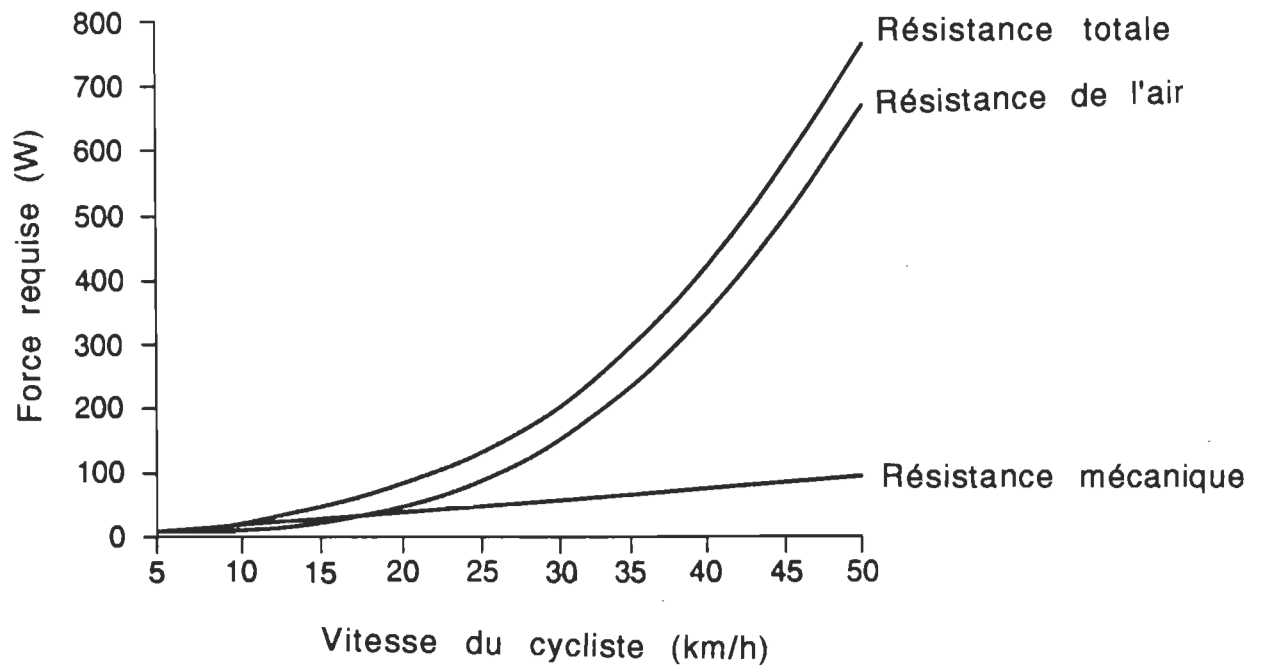


Figure 1. Puissances requises en fonction de la vitesse du cycliste pour chacun des types de résistance (mécanique, aérodynamique et totale). Ces valeurs ont été calculées en étant basées sur un cycliste de 75 kg, ayant une surface de 1.80 m² et de 0.45 m² en position sur le vélo et un vélo de 9 kg (Swain, 1996).

On constate que pour augmenter sa vitesse de 1 km/h lorsque le cycliste se déplace à ± 40 km/h, l'augmentation de la puissance de travail devra être plus importante que pour une même augmentation de vitesse lorsque le cycliste se déplace à 20 km/h. En effet, la résistance totale au mouvement est fonction du carré de la vitesse (Whitt et Wilson, 1974).

$$\text{Résistance frontale} = 0,043 \times \text{surface frontale (m}^2\text{)} \times \text{vitesse}^2 \text{ (km/h)}^2$$

Le seuil lactique à 2 mM est la charge de travail mesurée lorsque la concentration plasmatique de lactate sera de 2 mM. Plus la charge de travail à 2 mM sera élevée, plus le sujet sera probablement en mesure d'éliminer le lactate produit à exercice de faible intensité afin de maintenir la concentration de lactate basse lors de l'exercice (Weltman, 1995). Il est question ici d'un seuil aérobie plutôt qu'anaérobie.

Le seuil lactique à l'inflexion de la courbe de lactate représente la charge de travail mesurée lorsque la courbe plasmatique de lactate s'accroît et devient plus raide. Au moment où l'inflexion de la courbe survient, le sujet ne maintient plus l'équilibre entre la production de lactate et l'élimination de ce dernier. C'est alors que la concentration plasmatique de lactate augmente. L'inflexion de la courbe se situe habituellement à une charge de travail légèrement plus élevée que le seuil de 2 mM (Weltman, 1995).

Plus le pourcentage de la charge de travail maximale utilisée à l'inflexion de la courbe de lactate est élevé, plus le sujet a repoussé l'inflexion de la courbe. Il élimine donc plus efficacement le lactate produit pour une même charge de travail.

Le pourcentage de la charge de travail maximale utilisée à 4 mM indique que plus cette valeur est élevée, plus le sujet tolère l'exercice intense et des concentrations de lactate importantes. De plus, selon Sjodin et Jacobs (1981), le seuil de 4 mM serait le

meilleur prédicteur de la performance lors d'une course à pied. Nos résultats vont dans ce sens puisque ce prédicteur a été retenu dans la deuxième équation.

L'indice de fatigue quant à lui représente la capacité du sujet à maintenir une charge de travail élevée lors d'un test supramaximal tel que le Wingate. Moins l'indice est élevé, moins le sujet est fatigable car l'indice représente le pourcentage de baisse à partir du plus grand nombre de tours réalisés dans une tranche de 5 s.

$$\text{indice de fatigue} = \frac{(+ \text{ de tours en } 5 \text{ s}) - (- \text{ de tours en } 5 \text{ s})}{(+ \text{ de tours en } 5 \text{ s})}$$

Noble et al. (1983) mentionne que le seuil de 4 mM devrait être atteint entre 13 et 16 sur l'échelle de Borg. Dans la présente étude, le seuil de 4 mM fut atteint entre 13 et 17 sur l'échelle de Borg. La charge maximale de travail était de 323 ± 26.69 W tout en ayant des valeurs de 18.7 ± 1.34 sur l'échelle de Borg (Tableaux 5, 6 et 7).

Comparaison avec d'autres recherches

Lorsque nous comparons nos équations avec celle obtenue par Hopkins et McKenzie (1994), nous pouvons remarquer que les

facteurs qui composent leur équation sont la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2 \text{ max}$) et la charge de travail en watts au seuil ventilatoire (VT); deux facteurs qui nécessitent des tests de laboratoire complexes. Cependant, cette étude ne comprenait pas de mesure des seuils lactiques. Les auteurs y ont mesuré le seuil ventilatoire. Toutefois, tel que mentionné précédemment, le seuil ventilatoire nécessite aussi l'utilisation d'un analyseur de gaz.

La mesure du seuil ventilatoire comporte aussi certaines faiblesses. En effet, "les changements non linéaires dans les paramètres ventilatoires pourraient être que pure coïncidence par rapport à l'apparition et l'accumulation de l'acide lactique. De plus, l'interprétation du seuil aérobie (SA), à partir de données de la fonction respiratoire, peut faire ressortir des différences individuelles en ce qui a trait à la sensibilité respiratoire au CO_2 et aux ions d'hydrogène (H^+) qui peuvent influencer la relation entre la ventilation-minute (\dot{V}_E) et les augmentations des lactates plasmatiques" (Hagberg et al., 1981 et Davis et Gass, 1981).

Dans la formule de Hopkins et McKenzie (1994), le TTT représente le temps nécessaire pour parcourir une distance de 40 km.

$$TTT = 66.94 + 0.319 (\dot{V}O_2 \text{ max}) - 0.079 (VT \text{ watts})$$

$$r = 0.91, r^2 \text{ ajusté} = 0.75, p < 0.05$$

Cette équation a un $r = 0.91$ tandis que pour les équations que nous avons obtenues, les coefficients de corrélation sont respectivement de $r = 0.9563$ et $r = 0.9420$. Le r^2 ajusté était de 0.75 pour Hopkins et Mckenzie (1994) tandis que pour la présente étude ils sont r^2 ajusté = 0.9213 et r^2 ajusté = 0.8957. L'équation de Hopkins et Mckenzie (1994) était significative à $p < 0.05$ et celles que nous avons obtenues sont significatives à $p < 0.0014$ et $p < 0.0027$.

Selon Weltman (1995), la vitesse associée au point d'inflexion de la courbe de lactate serait un facteur déterminant et important concernant le marathon qui est une épreuve de 2 heures et plus. En effet, il n'y aurait une variation que de 2% entre la vitesse associée au point d'inflexion de la courbe de lactate et la vitesse moyenne lors d'un marathon. Il suggère aussi que le seuil 4 mM soit plutôt associé à des distances de 22 km et moins, soit des épreuves d'environ une heure.

Weltman (1995) indique aussi que les seuils lactacides sont d'excellents prédictors de la performance lors d'une course à pied de 12 min ($r = .87$). Selon lui, l'inflexion de la courbe de lactate serait le meilleur prédictor de la performance. Il indique que l'inflexion de la courbe de lactate ne représente pas un seuil précis comparativement aux seuils de 2 mM et de 4 mM, ce qui le rend moins influençable par des facteurs extérieurs tels les acides gras libres, le glycogène musculaire, l'équilibre acido-basique,

l'ingestion d'une diète riche en glucides ou tout autre facteur qui pourrait affecter le $\dot{V}O_2$ et la vitesse associée à des seuils précis (2 mM et 4 mM). Il indique aussi que le $\dot{V}O_2$ et les vitesses aux différents seuils étaient étroitement liés lors d'épreuves de 3200 mètres en course à pied (épreuves d'environ 10 min soit d'une durée similaire à celle du 7 km contre la montre en cyclisme).

Suite aux résultats de Weltman (1995), nous pouvons donc croire que les données recueillies en laboratoire pourraient être corrélées avec des épreuves de longueurs variées soit 7 km comme c'est le cas dans la présente étude tout autant qu'avec un 40 km. De plus, les équations retenues sont composées de facteurs qui sont de bons prédicteurs de la performance de courte et longue durée. Pour la première équation: la charge de travail en Watts à 2 mM et la charge de travail en Watts à l'inflexion de la courbe de lactate. Pour la deuxième équation: le pourcentage de la charge de travail maximale à l'inflexion de la courbe de lactate et le pourcentage de la charge de travail maximale à 4 mM. Ainsi l'inflexion de la courbe de lactate est liée aux épreuves de longue durée tel un marathon (Weltman, 1995) et elle est aussi un excellent prédicteur d'épreuves plus courtes tel un 7 km contre la montre comme nous l'avons démontré.

La vitesse obtenue sur un contre la montre de 7 km peut aussi servir à prédire la vitesse d'épreuves plus longues. Ainsi, afin de prédire la vitesse lors d'épreuves plus longues à partir de la vitesse

mesurée lors d'une épreuve plus courte, les entraîneurs se basent sur une règle relativement simple. Selon Joe Friel, lorsque l'on double la distance (toutes variables extérieures comprises), la vitesse diminue de 5%. Cette règle serait relativement fidèle et précise (Joe Friel, communication personnelle).

Par exemple, le cycliste qui effectuerait une épreuve de 7 km à 40 km/h ralentirait à 38 km/h lors d'une épreuve de 14 km et à 36,10 km/h lors d'une épreuve de 28 km.

Cependant, cette règle reste à être validée expérimentalement. À notre connaissance, cela n'a pas encore été réalisé.

CHAPITRE VI

CONCLUSION

En conclusion, nos résultats suggèrent que la performance cycliste lors d'un contre la montre de 7 km est déterminée par le rapport entre la masse maigre et la taille. Cette variable est ressortie comme importante dans nos deux équations.

Un bon cycliste sur 7 km a aussi un indice de fatigue plus bas. Ce dernier est alors capable de maintenir une puissance de pédalage près de sa puissance maximale de pédalage pendant une plus longue période. Comme l'indice masse maigre sur taille, l'indice de fatigue est ressortie dans les deux équations.

De plus, dans les deux équations, des mesures de la puissance de pédalage en absolu ou en pourcentage, à une concentration d'acide lactique donnée (à 2 mM et à l'inflexion en absolu ainsi qu'à 4 mM et à l'inflexion en relatif) sont aussi ressorties comme déterminantes.

Évidemment, ces conclusions sont spécifiques aux conditions expérimentales de notre étude. Nos conclusions sont valides pour des cyclistes du niveau de ceux que nous avons étudiés pour un parcours avec les mêmes caractéristiques que celui que nous avons utilisé. Les données que nous avons recueillies indiquent que les mesures prises en laboratoire peuvent prédire la performance dans

un contre la montre chez des cyclistes entraînés. Les différences entre la prédiction et la valeur réelle de la vitesse peuvent être associées à l'efficacité, la motivation, l'aérodynamisme et aux conditions climatiques. Néanmoins, le parcours utilisé était typique et imite ce qui est habituellement retrouvé en compétition.

Dans une étude ultérieure, il serait intéressant de valider les résultats de la présente étude en utilisant un échantillonnage plus nombreux. La présente étude a utilisé dix sujets, ce qui limite les degrés de liberté disponibles afin de déterminer et de faire ressortir des résultats significatifs. Une étude subséquente pourrait aussi bénéficier des résultats obtenus et mentionnés dans la présente étude en ce qui a trait à la sélection et au nombre de prédicteurs utilisés.

Finalement, notre étude a démontré qu'il est possible de prédire la presque totalité de la performance (vitesse) de cyclistes sur un 7 km contre la montre avec des tests de laboratoire accessibles aux entraîneurs.

RÉFÉRENCES

- American College of Sports Medicine. Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Williams and Wilkins. Baltimore, 1995, 67-70.
- Bar-Or, O., R. Dotan et O. Inbar. A 30 s all-out ergometric test: Its reliability and validity for anaerobic capacity. Israël J. Med. Sci., 1977, 13, 126.
- Burke, E.R. Physiological characteristics of national and international competitive cyclists. Phys. Sports Med., 1980, 8, 78-84.
- Burke, E.R., R. Cerny, D. Costill et W. Fink. Characteristics of skeletal muscle in competitive cyclists. Med. Sci. Sports Exerc., 1977, 9, 109-112.
- Coyle, E.F., M.E. Feltner, S.A. Kantz, M.T. Hamilton, S.J. Montain, A.M. Baylor, L.D. Abraham et G.W. Petrek. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. Med. Sci. Sports Exerc., 1991, 23, 93-107.
- Coyle, E.F., A.R. Coggan, M.K. Hopper et T.J. Walters. Determinants of endurance in well-trained cyclists. J. Appl. Physiol., 1988, 64, 2622-2630.

- Davis, H.A. et G.C. Gass. The anaerobic threshold as determined before and during lactic acidosis. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1981, 47, 141-149.
- Di Prampero, P.E., G. Cortili et F. Saibene. Equations of motion of a cyclist. *J. Appl. Physiol.*, 1979, 47, 201-206.
- Faria, I.E. Energy expenditure, aerodynamics and medical problems in cycling. *Sports Medicine*, 1992, 14, 43-63.
- Faria, I.E., E.W. Farie, S. Roberts et D. Yoshimura. Comparison of physical and physiological characteristics in elite young and mature cyclists. *Res. Quart. Sports Exerc.*, 1989, 60, 388-395.
- Farrell, P.A., J.H. Wilmore, E.F. Coyle, J.E. Billing et D.L. Costill. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med. Sci. Sports*, 1979, 11, 338-349.
- Friel, J. Cycling/Triathlon Coach. JoeFriel@aol.com. Ft Collins, CO, USA. (Communication personnelle), 31 mars 1997.
- Hagberg, J. et S. McCole. Energy Expenditure During Cycling. In E.R. Burke (Ed.), *High-Tech Cycling*. Human Kinetics. Champaign, IL. 1996, 167-184.

- Hagberg, J.M., E.F. Coyle, J.F. Miller, J.E. Carroll et W.H. Martin.
Ventilatory threshold without increasing blood lactic acid levels in McArdle's Disease patients - anaerobic threshold? Med. Sci. Sports and Exercice. 1981, 13, 115. (Abstract).
- Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mucke, S., Muller, R. et W. Hollmann.
Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. Int. J. Sports Med. 1985, 6, 117-130.
- Hopkins, S.R. et D.C. McKenzie. The laboratory assessment of endurance performance in cyclists. Can. J. Appl. Physiol., 1994, 19, 266-274.
- Jackson, A.S. et M.L. Pollock. Practical assessment of body composition. Physician Sport Med., 1985, 13, 76-90.
- Noble, B.J., Borg, G.A.V., Jacob, I., Ceci, R. et Kaiser, P.A. Category-ratio preceived exertion scale: Relationship to blood and muscle lactates and heart rate. Med. Sci. Sport Exercice., 1983, 15, 523-528.
- Omir, I., Oded, B.O. et Skinner, J.S. The Wingate Anaerobic Test. Human Kinetics. Champaign, Il. 1996.
- Paulin, L. Influence de l'exposition au froid sur le seuil anaérobie et le comportement du lactate à l'exercice progressif maximal. Mémoire de maîtrise. Sciences de l'activité physique. Université du Québec à Trois-Rivières. Avril 1990.

- SAS Institute. 1990. SAS/STAT Users guide. 2 volumes (version 6, 4^e édition). Cary, N.C.
- Sjodin, B., et I. Jacobs. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int. J. Sports Med.*, 1981, 2, 23-26.
- Sjøgaard, G. Muscle morphology and metabolic potential in elite road cyclists during a season. *Int. J. Sports Med.* 1984, 5, 250-254.
- Swain, D.P . Body size and Cycling Performance. In E.R. Burke (Ed.), *High-Tech Cycling*. Human Kinetics. Champaign, IL. 1996, 65-77.
- Swain, D.P. The influence of body mass in endurance bicycling. *Medicine and Science in sports and Exercise*. 1994, 26, 58-63.
- Swain, D.P., J.R. Coast, P.S. Clifford, M.C. Milliken et J. Stray-Gundersen. Influence of body size on oxygen consumption during bicycling. *J. Appl. Physiol.* 1987, 62, 668-672.
- Weltman, A. The Blood Lactate Response to Exercise. *Human Kinetics*, Champaign, IL, 1995.
- Whitt, F.R. et Wilson, D.G. *Bicycling Science*, 2nd Edition. The MIT Press, Cambridge, MA, 1974.

Liste des abréviations utilisées dans les annexes A et B.

Abréviations	Définitions
AGE	L'âge des sujets
PDS	Le poids des sujets
TA	La taille des sujets
EXP	Les années d'expérience des sujets
KM	Le kilométrage à vélo de l'été 1996 des sujets
PG	Le pourcentage de graisse des sujets
MM	La masse maigre des sujets
MMST	L'indice de masse maigre sur la taille des sujets
W 2	La charge de travail en Watts à 2 mM
W I	La charge de travail en Watts à l'inflexion de la courbe de lactate
W 4	La charge de travail en Watts à 4 mM
WMX	La charge de travail en Watts au maximum atteint
W 2 P	Le pourcentage du travail maximal à 2 mM
W I P	Le % du travail maximal à l'inflexion de la courbe de lactate
W 4 P	Le pourcentage du travail maximal à 4 mM
FCI	La fréquence cardiaque à l'inflexion de la courbe de lactate
FC 4	La fréquence cardiaque à 4 mM
FCMX	La fréquence cardiaque au travail maximal
B 2	La perception de l'effort selon l'échelle de Borg à 2 m
B I	La perception de l'effort (Borg) à l'inflexion de la courbe de lactate
B 4	La perception de l'effort selon l'échelle de Borg à 4 mM
BMX	La perception de l'effort selon l'échelle de Borg au travail maximal
TT	Le nombre de tours total au test de Wingate
T 5	Le + grand nombre de tours en 5 s dans une tranche du test Wingate
FAT	L'indice de fatigue
L 1	La lactatémie 1 min après la fin du test de Wingate
L 5	La lactatémie 5 min après la fin du test de Wingate
VI	La vitesse moyenne lors de l'épreuve de 7 km contre la montre

ANNEXE A

Tableaux des corrélations des prédicteurs de la performance
cycliste au contre la montre de 7 km.

	AGE	PDS	TA	EXP	K M
AGE	1,00000	-0,51521	-0,75052	0,65991	0,59679
PDS	-0,51521	1,00000	0,86165	-0,08927	-0,06639
TA	-0,75052	0,86165	1,00000	-0,40910	-0,14313
EXP	0,65991	-0,08927	-0,40910	1,00000	0,69688
K M	0,59679	-0,06639	-0,14313	0,69688	1,00000
PG	-0,06320	0,34103	0,22980	-0,30427	-0,12576
M M	-0,51815	0,98000	0,88297	-0,03933	-0,00606
MMST	-0,22629	0,90891	0,63664	0,28436	0,13230
W 2	-0,54475	0,44850	0,70499	-0,39281	-0,26986
W I	-0,03510	0,81557	0,52166	0,39004	0,29564
W 4	-0,25487	0,55004	0,67472	-0,18016	0,01104
WMX	-0,36998	0,24758	0,40232	0,03167	0,03852
W 2 P	-0,51774	0,43472	0,69716	0,44469	-0,29476
W I P	0,18466	0,57405	0,22235	0,36677	0,26259
W 4 P	0,08086	0,35357	0,33757	-0,20062	-0,01014
FCI	-0,41009	-0,08170	-0,02500	-0,39481	-0,70087
FC4	-0,73741	0,25483	0,44695	-0,69866	-0,75081
FCMX	-0,61997	0,10799	0,14128	-0,21361	-0,63114
B 2	-0,58243	0,39089	0,59871	-0,48887	-0,46842
B I	0,34628	0,36765	-0,08856	0,58926	0,27793
B 4	0,46477	-0,34414	-0,51422	0,45779	0,16516
BMX	-0,35831	0,42469	0,27374	0,11234	-0,28904
TT	-0,36996	0,53450	0,67702	0,04632	0,28941
T 5	-0,20439	0,67689	0,73457	0,09053	0,46682
FAT	0,63013	-0,17393	-0,37691	0,33770	0,44323
L 1	-0,51394	0,29242	0,46040	0,03164	0,09753
L 5	0,00175	0,18506	0,20468	0,52397	0,39788
VI	-0,05699	0,76663	0,56440	0,11129	0,11559

	PG	MM	MMST	W 2	W I
AGE	-0,06320	-0,51815	-0,22629	-0,54475	-0,03510
PDS	0,34103	0,98000	0,90891	0,44850	0,81557
TA	0,22980	0,88297	0,63664	0,70499	0,52166
EXP	-0,30427	-0,03933	0,28436	-0,39281	0,39004
KM	-0,12576	-0,00606	0,13230	-0,26986	0,29564
PG	1,00000	0,17678	0,11545	-0,22535	0,27533
MM	0,17678	1,00000	0,92341	0,54663	0,80488
MMST	0,11545	0,92341	1,00000	0,32371	0,90716
W 2	-0,22535	0,54663	0,32371	1,00000	0,14270
W I	0,27533	0,80488	0,90716	0,14270	1,00000
W 4	-0,05131	0,61851	0,47465	0,88569	0,37878
WMX	-0,70820	0,40277	0,33264	0,66529	0,04323
W2P	-0,11498	0,51459	0,28853	0,98806	0,13599
WIP	0,60943	0,48255	0,62280	-0,24741	0,85202
W4P	0,59451	0,28404	0,20326	0,32569	0,36005
FCI	0,37569	-0,17798	-0,28356	-0,06902	-0,25891
FC4	0,43706	0,18244	-0,07535	0,34062	-0,11960
FCMX	-0,20704	0,13207	0,08208	0,12680	-0,12624
B 2	-0,03275	0,43379	0,22266	0,86816	0,02390
BI	0,31745	0,27392	0,52773	-0,44049	0,63894
B 4	-0,11748	-0,38344	-0,20816	-0,33773	-0,15733
BMX	-0,22789	0,41910	0,46486	0,33187	0,22742
TT	-0,44702	0,67320	0,55345	0,67928	0,35310
T 5	0,01010	0,76127	0,65673	0,49649	0,59921
FAT	0,65300	0,28417	-0,13714	-0,63966	0,19946
L 1	-0,48120	0,38032	0,26026	0,51738	0,01991
L 5	-0,75593	0,33892	0,41619	0,54185	0,20321
VI	0,29615	0,76797	0,81337	0,44496	0,68655

	W 4	WMX	W 2 P	WIP	W 4 P
AGE	-0,25487	-0,36998	-0,51774	0,18466	0,08086
PDS	0,55004	0,24758	0,43372	0,57405	0,35357
TA	0,67472	0,40232	0,69716	0,22235	0,33757
EXP	-0,18016	0,03167	-0,44469	0,36677	-0,20062
KM	0,01104	0,03851	-0,29476	0,26259	-0,01014
PG	-0,05131	-0,70820	-0,11498	0,60943	0,59456
MM	0,61851	0,40277	0,51459	0,48255	0,28404
MMST	0,47465	0,33264	0,27853	0,62280	0,20326
W 2	0,88569	0,66529	0,98808	-0,24741	0,32569
W I	0,37878	0,04323	0,13599	0,85202	0,36005
W 4	1,00000	0,47925	0,90285	0,05931	0,61712
WMX	0,47925	1,00000	0,54528	-0,48161	-0,39333
W 2 P	0,90285	0,54528	1,00000	-0,19385	0,45095
WIP	0,05931	-0,48164	-0,19385	1,00000	0,49807
W 4 P	0,61712	-0,39333	0,45095	0,49807	1,00000
FCI	-0,25813	-0,45867	-0,00006	0,01184	0,13449
FC4	0,13402	-0,20259	0,40767	-0,01876	0,31079
FCMX	-0,27877	0,31308	0,05501	-0,26674	-0,57701
B 2	0,75120	0,41616	0,88689	-0,20825	0,41349
BI	-0,09955	-0,39474	-0,42406	0,78721	0,25744
B 4	-0,12539	-0,31226	-0,30693	0,05137	0,15349
BMX	0,32501	0,43269	0,27578	-0,00653	-0,03893
TT	0,67176	0,82447	0,59528	-0,13283	-0,04416
T 5	0,64937	0,42168	0,47032	0,29011	0,29628
FAT	-0,34658	-0,82185	-0,54452	0,62142	0,39114
L 1	0,41767	0,77134	0,42716	-0,36815	-0,41331
L 5	0,45744	0,94081	0,40814	-0,43418	-0,33150
VI	0,63719	0,27957	0,43877	0,46234	0,43912

	FCI	FC4	FCMX	B 2	BI
AGE	-0,41009	-0,73741	-0,61997	-0,58243	0,34628
PDS	-0,08170	0,25483	0,10799	0,39089	0,36765
TA	-0,02500	0,44695	0,14128	0,59871	-0,08856
EXP	-0,39481	-0,69886	-0,21361	-0,41887	0,58926
KM	-0,70087	-0,75081	-0,63114	0,46842	0,27793
PG	-0,37569	0,43706	-0,20704	-0,03275	0,31745
MM	-0,17798	0,18244	0,13207	0,43379	0,27392
MMST	-0,28356	-0,07535	0,08208	0,22266	0,52773
W 2	-0,06902	0,34062	0,12680	0,86816	-0,44049
WI	-0,25891	-0,11960	-0,12624	0,02390	0,63894
W 4	-0,25813	0,13402	-0,27877	0,75120	-0,09955
WMX	-0,45867	-0,20259	0,31308	0,41616	-0,39474
W 2 P	-0,00006	0,40767	0,05501	0,88689	-0,42406
WIP	0,01184	-0,01876	-0,26674	-0,20825	0,78721
W 4 P	0,13449	0,31079	-0,57701	0,41349	0,25744
FCI	1,00000	0,85708	0,49947	0,34369	-0,01731
FC4	0,85708	1,00000	0,46390	0,62612	-0,22006
FCMX	0,49947	0,46390	1,00000	0,24248	-0,27368
B 2	0,34364	0,62612	0,24248	1,00000	-0,28003
BI	-0,01731	-0,22006	-0,27368	-0,28003	1,00000
B 4	0,20353	-0,13171	-0,33127	-0,02713	0,53437
BMX	0,13985	0,16976	0,29263	0,49498	0,36909
TT	-0,55141	-0,17757	-0,01489	0,41475	-0,16620
T 5	-0,51172	0,13705	-0,26903	0,27633	0,06274
FAT	0,04605	-0,18264	-0,53384	-0,53506	0,45955
L 1	-0,17521	0,02966	0,27334	0,48105	-0,14743
L 5	-0,77753	-0,66857	0,00963	0,17369	-0,27244
VI	-0,33634	-0,07448	-0,12516	0,36680	0,30818

	B 4	BMX	TT	T 5	FAT
AGE	0,46477	-0,35831	-0,36996	-0,20439	0,63013
PDS	-0,34414	0,42469	0,53450	0,67689	-0,17393
TA	-0,51422	0,27374	0,67702	0,73457	-0,34691
EXP	0,45779	0,11234	0,04632	0,09053	0,33770
KM	0,16516	-0,28909	0,28941	0,46682	0,44323
PG	-0,11748	-0,22789	-0,44702	0,01010	0,65300
MM	-0,38344	0,41910	0,67320	0,76127	-0,28417
MMST	-0,20816	0,46486	0,55345	0,65673	-0,13714
W 2	-0,33773	0,33187	0,67928	0,49649	-0,63966
W I	-0,15733	0,22742	0,35310	0,59921	0,19946
W 4	-0,12539	0,32501	0,67176	0,64937	-0,34658
WMX	-0,31226	0,43269	0,82447	0,42168	-0,82185
W 2 P	-0,30693	0,27578	0,59528	0,47032	-0,54452
WIP	0,05137	-0,00653	-0,13283	0,29011	0,62142
W 4 P	0,15349	-0,03893	-0,04416	0,29628	0,34114
FCI	0,20353	0,13985	-0,55141	-0,51172	0,04605
FC4	-0,13171	0,16976	-0,17757	-0,13705	-0,18264
FCMX	-0,33127	0,29263	-0,01489	-0,26903	-0,53389
B 2	-0,02713	0,49498	0,41475	0,27633	-0,53506
BI	0,53437	0,36909	-0,16620	0,06274	0,45955
B 4	1,00000	0,37383	-0,28974	-0,23069	0,22725
BMX	0,37383	1,00000	0,30824	0,00998	-0,52021
TT	-0,28974	0,30824	1,00000	0,83636	-0,60744
T 5	-0,32069	0,00998	0,83636	1,00000	-0,14032
FAT	0,22725	-0,52021	-0,60744	-0,14032	1,00000
L 1	0,02176	0,68456	0,71625	0,36473	-0,66673
L 5	-0,18844	0,35197	0,78868	0,45480	-0,78152
VI	0,25383	0,30073	0,44844	0,61946	-0,00736

	L 1	L 5	VI
AGE	-0,51394	0,00175	-0,05699
PDS	0,29242	0,18506	0,76663
TA	0,46040	0,20468	0,56440
EXP	0,03164	0,52397	0,11129
K M	0,09753	0,39788	0,11559
PG	-0,48120	-0,75593	0,29615
M M	0,38032	0,33892	0,76797
MMST	0,26026	0,41619	0,81337
W 2	0,51738	0,54185	0,44496
W I	0,01991	0,20321	0,68655
W 4	0,41767	0,45744	0,67719
WMX	0,77134	0,94081	0,27957
W 2 P	0,42716	0,40814	0,43877
W I P	-0,36815	-0,43418	0,46243
W 4 P	-0,41331	-0,33150	0,43912
FCI	-0,17521	-0,77753	-0,33634
FC4	0,02966	-0,66857	-0,07448
FCMX	0,27334	0,00963	-0,12516
B 2	0,48105	0,17369	0,36680
B I	-0,14743	-0,27244	0,30818
B 4	0,02176	-0,01884	-0,25383
BMX	0,68456	0,35194	0,30073
TT	0,71625	0,78868	0,44844
T 5	0,36473	0,45480	0,61946
FAT	-0,66673	-0,78152	-0,00736
L 1	1,00000	0,58001	0,10202
L 5	0,58001	1,00000	0,34198
VI	0,10202	0,34198	1,00000

ANNEXE B

Tableaux des liens significatifs entre les prédicteurs de la performance cycliste au contre la montre de 7 km.

	AGE	PDS	TA	EXP	K M	PG
AGE	0.0	0.1275	0.0124	0,0379	0,0685	0,8623
PDS	0.1275	0.0	0.0014	0,8063	0,8554	0,3349
TA	0.0124	0.0014	0.0	0,2404	0,6932	0,5230
EXP	0.0379	0,8063	0,2404	0,0	0,0251	0,3927
K M	0.0685	0,8554	0,6932	0,0251	0,0000	0,7292
PG	0.8623	0,3349	0,5230	0,3927	0,7282	0,0000
M M	0.1250	0,0001	0,0007	0,9141	0,9868	0,6252
MMST	0.5296	0,0003	0,0478	0,4259	0,7156	0,7508
W 2	0.1035	0,1936	0,0228	0,2615	0,4508	0,5313
W I	0.9233	0,0040	0,1220	0,2652	0,4069	0,4413
W 4	0.4773	0,0995	0,0323	0,6184	0,9758	0,8881
WMX	0,2927	0,4904	0,2491	0,9308	0,9159	0,0219
W 2 P	0,1253	0,2093	0,0250	0,1979	0,4084	0,7518
W I P	0,6095	0,0827	0,5370	0,2972	0,4636	0,0614
W 4 P	0,8243	0,3162	0,3401	0,5784	0,9778	0,0699
FCI	0,2392	0,8225	0,9453	0,2589	0,0240	0,2847
FC4	0,0149	0,4774	0,1953	0,0246	0,0123	0,2066
FCMX	0,0559	0,7665	0,6971	0,5535	0,0504	0,5660
B 2	0,0773	0,2640	0,0674	0,2283	0,1721	0,9284
B I	0,3270	0,2959	0,8078	0,0730	0,4369	0,3714
B 4	0,1759	0,3302	0,1284	0,1834	0,6484	0,7456
BMX	0,3093	0,2212	0,4441	0,7573	0,4180	0,5266
TT	0,2927	0,1114	0,0315	0,8989	0,4173	0,1952
T 5	0,5711	0,0316	0,0155	0,8036	0,1738	0,9779
FAT	0,0508	0,6308	0,2830	0,3399	0,1995	0,0406
L 1	0,1570	0,4451	0,2124	0,9356	0,8029	0,1897
L 5	0,9964	0,6336	0,5973	0,1476	0,2889	0,0185
VI	0,8757	0,0097	0,0892	0,7595	0,7505	0,4061

	M M	MMST	W 2	W I	W 4	WMX
AGE	0,1250	0,5296	0,1035	0,9233	0,4773	0,2927
PDS	0,0001	0,0003	0,1936	0,0040	0,0995	0,4904
TA	0,0007	0,0478	0,0228	0,1220	0,0323	0,2491
EXP	0,9141	0,4259	0,2615	0,2652	0,6184	0,9308
KM	0,9860	0,7156	0,4508	0,4069	0,9758	0,9159
PG	0,6252	0,7508	0,5313	0,4413	0,8881	0,0219
M M	0,0000	0,0001	0,1020	0,0050	0,0566	0,2485
MMST	0,0001	0,0000	0,3615	0,0003	0,1657	0,3477
W 2	0,1020	0,3615	0,0000	0,6441	0,0006	0,0358
W I	0,0050	0,0003	0,6941	0,0000	0,2804	0,9056
W 4	0,0566	0,1657	0,0006	0,2804	0,0000	0,1611
WMX	0,2485	0,3477	0,0358	0,9056	0,1611	0,0000
W 2 P	0,1280	0,4358	0,0001	0,7080	0,0003	0,1031
W I P	0,1578	0,0544	0,4907	0,0017	0,8707	0,1587
W 4 P	0,4264	0,5733	0,3584	0,3068	0,0573	0,2608
FCI	0,6228	0,4272	0,8497	0,4701	0,4715	0,1824
FC4	0,6139	0,8361	0,3355	0,7421	0,7120	0,5746
FCMX	0,7161	0,8117	0,7270	0,7282	0,4354	0,3784
B 2	0,2104	0,5364	0,0011	0,8477	0,0123	0,2316
B I	0,4438	0,1169	0,2026	0,0467	0,7844	0,2589
B 4	0,2740	0,5639	0,3399	0,6642	0,7300	0,3797
BMX	0,2280	0,1758	0,3489	0,5275	0,3595	0,2117
TT	0,0329	0,0970	0,0307	0,3169	0,0334	0,0033
T 5	0,0105	0,0391	0,1444	0,0671	0,0422	0,2248
FAT	0,4262	0,7056	0,0464	0,5806	0,3265	0,0035
L 1	0,3126	0,4988	0,1537	0,9594	0,2633	0,0149
L 5	0,3723	0,2652	0,1317	0,6000	0,2157	0,0002
VI	0,0095	0,0042	0,1975	0,0283	0,0475	0,4340

	W 2 P	W I P	W 4 P	FCI	FC4	FCMX
AGE	0,1253	0,6095	0,8243	0,2392	0,0149	0,0559
PDS	0,2093	0,0827	0,3162	0,8225	0,4774	0,7665
TA	0,0250	0,5370	0,3401	0,9453	0,1953	0,6971
EXP	0,1979	0,2972	0,5784	0,2589	0,0246	0,5535
K M	0,4084	0,4636	0,9778	0,0240	0,0123	0,0504
PG	0,7518	0,0614	0,0699	0,2847	0,2066	0,5660
M M	0,1280	0,1578	0,4264	0,6228	0,6139	0,7161
MMST	0,4358	0,0544	0,5733	0,4272	0,8361	0,8217
W 2	0,0001	0,4907	0,3584	0,8497	0,3355	0,7270
W I	0,7080	0,0017	0,3068	0,4701	0,7421	0,7282
W 4	0,0003	0,8707	0,0573	0,4715	0,7120	0,4354
WMX	0,1031	0,1587	0,2608	0,1824	0,5746	0,3784
W 2 P	0,0000	0,5915	0,1909	0,9999	0,2422	0,8800
W I P	0,5915	0,0000	0,1429	0,9741	0,9590	0,4563
W 4 P	0,1909	0,1429	0,0000	0,7111	0,3821	0,0807
FCI	0,9999	0,9741	0,7111	0,0000	0,0015	0,1416
FC4	0,2422	0,9590	0,3821	0,0015	0,0000	0,1768
FCMX	0,8800	0,4563	0,0807	0,1416	0,1768	0,0000
B 2	0,0006	0,5637	0,2349	0,3309	0,0528	0,4997
B I	0,2220	0,0069	0,4727	0,9721	0,5413	0,4442
B 4	0,3883	0,8879	0,6720	0,5728	0,7168	0,3498
BMX	0,4406	0,9857	0,9150	0,7000	0,6392	0,4119
TT	0,0694	0,7145	0,9036	0,0985	0,6236	0,9674
T 5	0,1701	0,4162	0,4058	0,1306	0,7058	0,4523
FAT	0,1036	0,0551	0,2637	0,8995	0,6135	0,1120
L 1	0,2515	0,3296	0,2688	0,6521	0,9396	0,4767
L 5	0,2755	0,2429	0,3835	0,0137	0,0490	0,9804
VI	0,2046	0,1785	0,2042	0,3420	0,8380	0,7305

	B 2	B I	B 4	BMX	TT	T 5
AGE	0,0773	0,3270	0,1759	0,3093	0,2927	0,5711
PDS	0,2640	0,2959	0,3302	0,2212	0,1114	0,0316
TA	0,0674	0,8078	0,1284	0,4441	0,0315	0,0155
EXP	0,2283	0,0730	0,1834	0,7573	0,8989	0,8036
K M	0,1721	0,4369	0,6484	0,4180	0,4173	0,1738
PG	0,9284	0,3714	0,7465	0,5266	0,1952	0,9779
M M	0,2104	0,4438	0,2740	0,2280	0,0329	0,0105
MMST	0,5364	0,1169	0,5639	0,1758	0,0970	0,0391
W 2	0,0011	0,2026	0,3399	0,3489	0,0307	0,1444
W I	0,9477	0,0467	0,6642	0,5275	0,3169	0,0671
W 4	0,0123	0,7844	0,7300	0,3595	0,0334	0,0422
WMX	0,2316	0,2589	0,3797	0,2117	0,0033	0,2248
W 2 P	0,0006	0,2220	0,3883	0,4406	0,0694	0,1701
WIP	0,5637	0,0069	0,8879	0,9857	0,7145	0,4762
W 4 P	0,2349	0,4727	0,6720	0,9150	0,9036	0,4058
FCI	0,3309	0,9621	0,5728	0,7000	0,0995	0,1306
FC4	0,0528	0,5413	0,7168	0,6392	0,6236	0,7058
FCMX	0,4997	0,4442	0,3498	0,4119	0,9674	0,4523
B 2	0,0000	0,4333	0,9407	0,1458	0,2233	0,4396
B I	0,4333	0,0000	0,1116	0,2938	0,6463	0,8633
B 4	0,9407	0,1116	0,0000	0,2873	0,4168	0,3663
BMX	0,1458	0,2939	0,2873	0,0000	0,3862	0,9782
TT	0,2333	0,6463	0,4168	0,3862	0,0000	0,0026
T 5	0,4396	0,8633	0,3663	0,9782	0,0026	0,0000
FAT	0,1110	0,1815	0,5278	0,1232	0,0625	0,6990
L 1	0,1899	0,7051	0,9557	0,0419	0,0300	0,3345
L 5	0,6549	0,4782	0,6273	0,3529	0,0115	0,2187
VI	0,2971	0,3863	0,4792	0,3985	0,1930	0,0561

	FAT	L 1	L 5	VI
AGE	0,0508	0,1570	0,9964	0,8757
PDS	0,6308	0,4451	0,6336	0,0097
TA	0,2830	0,2124	0,5973	0,0892
EXP	0,3399	0,9356	0,1476	0,7595
KM	0,1995	0,8029	0,2889	0,7505
PG	0,0406	0,1897	0,0185	0,4061
MM	0,4262	0,3126	0,3723	0,0095
MMST	0,7056	0,4988	0,2652	0,0042
W 2	0,0464	0,1537	0,1317	0,1975
WI	0,5806	0,9594	0,6000	0,0283
W 4	0,3265	0,2633	0,2157	0,0475
WMX	0,0035	0,0149	0,0002	0,4340
W2P	0,1036	0,2515	0,2755	0,2046
WIP	0,0555	0,3296	0,2429	0,1785
W4P	0,2637	0,2688	0,3835	0,2042
FCI	0,8995	0,6521	0,0137	0,3420
FC4	0,6135	0,9396	0,0490	0,8380
FCMX	0,1120	0,4767	0,9804	0,7305
B 2	0,1110	0,1899	0,6549	0,2371
BI	0,1815	0,7051	0,4782	0,3863
B 4	0,5278	0,9557	0,6273	0,4782
BMX	0,1232	0,0419	0,3529	0,3985
TT	0,0625	0,0300	0,0115	0,1936
T 5	0,6990	0,3345	0,2187	0,0561
FAT	0,0000	0,0498	0,0129	0,9839
L 1	0,0498	0,0000	0,1318	0,7940
L 5	0,0129	0,1318	0,0000	0,3677
VI	0,9839	0,7940	0,3677	0,0000

ANNEXE C

Analyse de variance de la première équation

Model: MODEL 1

Dependent Variable: Vi

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	4	21,91020	5,47755	27,323	0,0014
Error	5	1,00236	0,20047		
C Total	9	22,91256			

Root MSE	0,44774	R-square	0,9536
Dep Mean	40,2020	Adj R-sq	0,9213
C.V.	1,11373		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for HO: Parameter=0	Prob > T
INTERCEP	1	-13,464470	7,11617148	-1,892	0,1170
MM/T	1	1,641619	0,26139131	6,280	0,0015
W 2	1	0,013754	0,00304120	4,522	0,0063
W1	1	-0,080718	0,08240110	-4,425	0,0069
FAT	1	23,225438	4,30218165	5,399	0,0029

Obs	Dep Var VI	Predict Value	Residual
1	40,0600	40,3176	-0,2576
2	41,9300	41,6889	0,2411
3	41,6500	42,1335	-0,4835
4	38,4100	38,5914	-0,1814
5	41,2400	40,9562	0,2838
6	40,7000	40,7398	-0,0398
7	41,7200	41,1705	0,5495
8	40,4500	40,4813	-0,0313
9	37,3900	37,0965	0,2935
10	38,4700	38,8443	-0,3743

Sum of Residuals	0
Sum of Squared Residuals	1,0024
Predicted Resid SS (Press)	3,6204

ANNEXE D

Analyse de variance de la seconde équation

Model: MODEL 2

Dependent Variable: Vi

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	4	21,58457	5,39614	27,317	0,0027
Error	5	1,32799	0,2656		
C Total	9	22,91256			

Root MSE	0,51536	R-square	0,9420
Dep Mean	40,20200	Adj R-sq	0,8957
C.V.	1,28193		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for HO: Parameter=0	Prob > T
INTERCEP	1	-9,332348	6,58872270	-1,416	0,2158
MM/T	1	1,303822	0,19776889	6,593	0,0012
WIP	1	-0,203933	0,04885575	4,174	0,0087
W4P	1	0,087689	0,02606886	3,364	0,0200
FAT	1	22,490163	6,17014541	3,645	0,0148

Obs	Dep Var VI	Predict Value	Residual
1	40,0600	39,4210	0,6390
2	41,9300	41,4875	0,4425
3	41,6500	41,9628	-0,3128
4	38,4100	38,7058	-0,2958
5	41,2400	41,0500	0,1900
6	40,7000	41,2445	-0,5445
7	41,7200	41,4069	0,3131
8	40,4500	40,7275	-0,2775
9	37,3900	37,3693	0,0207
10	38,4700	38,6446	-0,1746

Sum of Residuals	0
Sum of Squared Residuals	1,328
Predicted Resid SS (Press)	9,6715

ANNEXE E

Tableau de corrélation des éléments formant les équations
vs leur équation respective.

	MM/T	W2	W1	WIP	W4P	Index de F
Équation 1	0,83177	0,45504	0,70207	•	•	-0,00753
Équation 2	0,83802	•	•	0,407635	0,45242	-0,00758